大理挖色凤尾箐地区夜天文气象特征的统计分析*

王晶星 [1]，宋腾飞 [1]，刘煜 [1]，李忠木 [2]，申远灯 [1]，黄锦 [1,3]，Oloketuyi Jacob[1,3]，
张雪飞 [1]，刘顺庆 [1]，李小波 [1]，赵明宇 [1]
(1. 中国科学院云南天文台，云南昆明 650216；2.大理大学，云南大理 671003;
3.中国科学院大学，北京 100049)

摘 要

本文利用我们建立在大理洱海东岸的挖色凤尾箐气象站所采集的两年多气象数据，运用统计方法对相对湿度、露点概率、降雨量、气压、温度和风速风向进行了分析。统计表明该地区 (2016.08-2018.09)气象条件具有明显的季节性规律：在每年 11 月至次年 4 月，相对湿度较小、结露概率较低、降雨量少、气压和气温波动小、风速小且风向稳定，较适合开展连续的夜天文光学观测；在每年 5 月-10 月湿度偏大、结露概率较高、气压波动较大，在这段时期开展夜间天文光学观测需要注意避开这些不利气象因素。

关键字：台址；气象数据；统计分析；大理；望远镜
中图分类号: P112 文献标识码: A

Statistical analysis of night-time astronomical and meteorological characteristics in Fengweiqing of Dali

Jingxing Wang[1]，Tengfei Song[1]，Yu Liu[1]，Zhongmu Li[2]， Yuandeng Shen[1], Jin Huang[1,3], Oloketuyi Jacob[1,3], Xuefei Zhang[1]，Shunqing Liu[1], Xiaobo Li[1]，Mingyu Zhao[1]
(1.Yunnan Observatories ,Chinese Academy of Sciences, Kunming650216, China;
2. Dali University, Dali 671003, China;
3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The temperature, relative humidity, probability of dew point,rainfall, air pressure and wind speed and direction are analyzed by using the data of over two years from the weather station constructed at the Fengweiqing village, east coast of ErHai lake, Dali. According to the statistics, the meteorological conditions in this region (2016.08-2018.09) show obvious seasonal features: during November and the next April, the relative humidity and the probability of condensation are low, rainfall is low , the pressure fluctuation is weak, the wind speed values are small and steady, suitable for night astronomical optical observation. During May and October, the relative humidity values and the probabilities of condensation can be very high, as well as the

*基金项目：国家自然科学基金重点资助项目(11533009)，中国科学院“西部之光”一带一路团队项目资助。

pressures fluctuate obviously. Such high-humidity periods should be avoided when people make schedule for observations.

Key words: Site survey; Meteorological data; Statistical analysis; Dali; telescope

一、 背景与址点介绍

为配合有关部门发展天文望远镜项目的需求，我们于 2016 年 8 月在大理凤尾箐（地处大理洱海东岸挖色镇大城村委会 10 组，距挖色镇 25km）建立了一套完整的气象站系统。该址点处于农田之中，具有一定植被，总的地势为东北偏高、西南偏低。由于受低纬度高原季风气候影响，该址点具有冬春两季天气晴朗、日照时数较多，夏秋两季日照时数较少的季节性气候规律。气象站东经 100.30°，北纬 25.90°，海拔约 2400 米，距离洱海东岸直线距离约 8.2 km。图 1 给出了气象站位置的百度卫星地图。我们曾分析了该站一年的相对湿度、风速风向和气压等有限数据[1]，本文将根据已经获取的超过两年的资料，对更多参数进行详细研究。

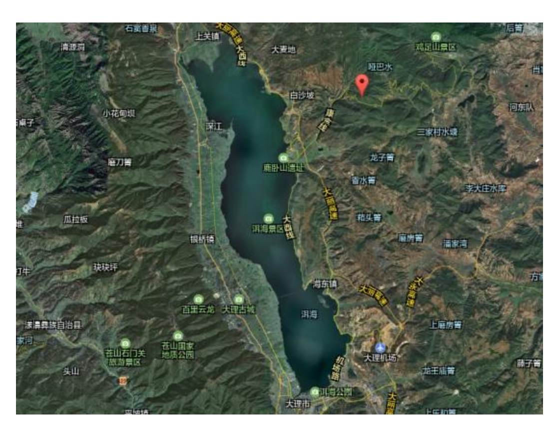


图 1 气象站位置卫星图(此处地图来源百度卫星地图)

二、 气象参数对光学天文观测的影响

对于地基天文观测来说，优良的大气条件对望远镜非常重要[2]。通过对气象参数进行定量评价，可以提高地基天文观测的质量和仪器使用的安全性。

每台望远镜都有一定的安全使用要求，当气象参数达到望远镜使用的安全限值，应当停止使用。因此，持续监测并分析气象参数，具有重要的意义。

天文台址气象监测不仅可以实时监测台址观测条件，而且可以通过长时间观测系统，定量评估该台址观测条件变化情况。

接下来，我们介绍相对湿度、露点温度、降雨量、大气压、温度和风速风向的气象参数对望远镜运行的影响。云层的影响和云量数据分析将在以后的文章进行分析。

2.1 相对湿度

天文观测中，湿度对望远镜的裸露镜面、滤光片、CCD 以及电子设备等有直接影响，湿度过高引起镜面、滤光片以及 CCD 窗口结露、电子设备短路等现象的发生。Radu[3]分析局部湿度和空气的电导率之间的关系，得到高的湿度会增加空气的导电率，直接影响光探测器。Celik[4]，Theiling[5]等提到湿度过高会使光电倍增管遭受高压冲击，从而对探测器造成不可逆的影响。

由于不同天文台址所处气候环境不同，天文观测过程中对湿度阀值的制定也不同，为了确保望远镜及其附属设备的安全，一般都把相对湿度为 90%作为停止观测的标准。例如，Jabiri[6]，Murdin[7]以及 Lombardi[8]在分析 ORM(Roque de los Muchachos Observatory)气象参数时，把相对湿度为 90%作为望远镜设备是否工作的阀值。Radu[3]通过分析 NOT(Nordic Optical Telescope)所在台址的气象条件，同样认为 90%是一个合理的标准。

2.2 露点温度

相对湿度和露点温度最容易引起天文仪器表面结露并形成液滴的现象发生。当物体表面温度低于或等于结露温度时，其表面就会产生结露。然而，无论天文仪器是否在工作都会导致其零部件受损甚至发生危险。如果空气温度和露点温度之间的差在 1-5℃之间[3]，就会发生结露现象。

通过干球温度计算出饱和水汽压，由饱和水汽压和相对湿度计算出水汽压， 再利用露点温度和水汽压的经验公式计算出露点温度[12]。

$$T_d = \frac{b}{\dfrac{a}{\log(\dfrac{e}{6.11})} - 1}$$

式中：T_d 代表空气的露点温度，单位℃；e代表空气的水蒸汽压，单位 hPa； $a=7.5$，$b=237.3$。

2.3 降雨量

降雨量是指在一定时间内降落到地面的水层深度，单位用毫米表示[13]。降雨直接影响天文望远镜的观测。为了保护望远镜设备及其相关附件设备，应尽量避开在降雨频繁的时段观测。

2.4 气压

在天文观测中，气压参数主要用于分析露点温度、大气折射变化和大气稳定性。Lombardi 通过分析台址是否受高压所主导，得出该址点大气是否稳定[8]。Jabiri 通过计算平均气压值高于理论气压值的频率，判断高层大气的稳定性[6]。Lombardi 认为，在短时间内(几个小时)气压的变化会导致天气的变化[8]。目前世界上各个天文台址在气候条件监测时都把气压参数纳入了监测范围。

参考美国标准大气模型(US Standard Atmosphere)及文献[10]中给出的理论气压计算公式，给定了通过输入天文台址的海拔高度可以计算出该地点理论气压值：

$$P_{theo} = P_0 \left[1 - 0.0065 \frac{h}{T_0} \right]^{5.256}$$

其中 P_o 为海平面标准大气压，$P_o = 1013.25hPa$；T_o 为海平面标准温度，$T_o = 288.15K$。

结合以上公式，我们可计算出该台址的理论气压值 P_{theo}，并通过与实际气压值进行对比推测出该台址大气是否稳定。

2.5 环境温度

温度波动对望远镜成像系统和照相机成像质量有直接的影响。温度波动会引起望远镜中机械结构的对应变形，程度严重的话会影响光学元件间的位置，进而带来望远镜光学系统成像质量的降低。同时温度波动能够导致照相机噪声和增益增大，造成照相机灵敏度的下降。因此，全面掌握候选址点夜间的气温及变化规律具有一定价值。

2.6 风速

由于风力载荷对望远镜光学系统、支撑结构以及驱动系统的影响，为了确保望远镜各个系统的安全，当风速超过安全上限时，应停止望远镜工作。此外，如果高速风携带大量灰尘，还将导致望远镜成像质量下降。VERITAS（Very Energetic Radiation Imaging Telescope Array System）望远镜规定的安全风速限制在 8.9m/s[5]，MAGIC(Major Atmospheric Gamma Imaging Cherenkov)望远镜规定的安全风速为 11.1m/s，而美国帕洛马(Palomar Observatory)天文台规定望远镜在风速超过 18m/s 就停止观测[8]。在摩洛哥 Oukaimeden 遗址进行的一项气象研究中，15m/s 也被认为是风速的典型最大安全运行值的极限[7]。

三、 气象数据及统计分析

我们采用武汉富源公司生产的 FY-CJ2 型自动气象站用于定点监测，气象站观测 10 米高，是针对气温、相对湿度、风速、风向、气压和降雨量等气象要素的观测而设计的一款智能化、高性能自动观测站。其中，风速、风向传感器置于地表 10 米高位置，相应传感器的精度分别为 ±(0.3+0.03*v) m/s 和 ±3 °，其中 v 为实际测量风速大小；温度、相对湿度和气压传感器置于地表 2 米高位置，相应传感器的精度分别为 ±0.2℃、±2%和 0.1 hPa，翻斗式雨量传感器置于水平地面，传感器的精度为 0.2mm，测量范围 0-4mm/min。图 2 为气象站主控箱和外观图。

作者曾利用大理挖色凤尾箐气象站早期的一年资料做过有限参数的简短统计分析[1]。为更全面了解该址点气象统计情况，现利用该气象站超过两年(2016.08-2018.09 期间)的气象数据开展更全面的研究。我们首先把每天晚上时间范围(20:00-06:00，即大致为日落至日出期间)的数据提取出来，然后对样本进行相关统计分析。



图 2(a) 气象站的主控箱　　图 2(b)气象站的整体外观

Fig.2(a)：Control panel　　Fig.2(b) Weather station

3.1 相对湿度

该地区相对湿度具有明显的季节性变化。图 3 给出了各年度每月夜晚相对湿度的中值及其方差分布。从平均效应来看，在 11 月到次年 4 月相对湿度的中值均在 80%以下。其中 2 月份最低，中值为 64.9%。5 月-10 月的湿度中值较高，均在 80%以上，其中在 7 月和 8 月的中值分别达到 92.6%和 92.7%。图 4 为每月夜间相对湿度标准差分布。可以看到该地区的相对湿度波动同样具有显著的季节性特点，在 11 月到次年 4 月湿度的波动比较大，而在 5 月-10

月湿度的波动比较小。图 4 给出了大理凤尾箐每月夜间相对湿度大于 90%的百分比。由于 90%是望远镜能否正常观测的极值，比例越高代表该地区望远镜不可观测的时间越多。图 5 中表明，该地区湿度影响观测同样具有明显的季节性变化，11 月次年 4 月的可观测概率比较高，尤其在 2 月前后。而 5 月-10 月可观测的概率相对比较低。

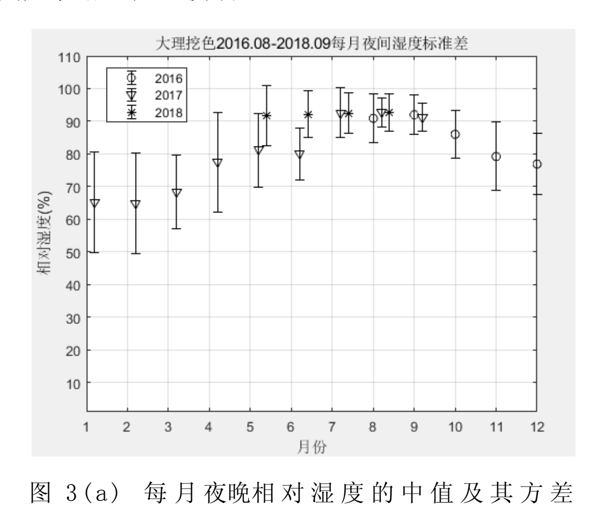


图 3(a) 每月夜晚相对湿度的中值及其方差

Fig.3(a) Mean monthly night relative humidity and its variance

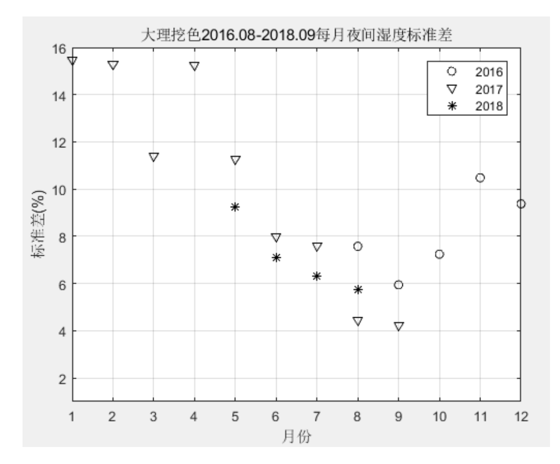


图 3(b) 每月夜间相对湿度标准差

Fig.3(b) Standard deviation monthly night relative humidity

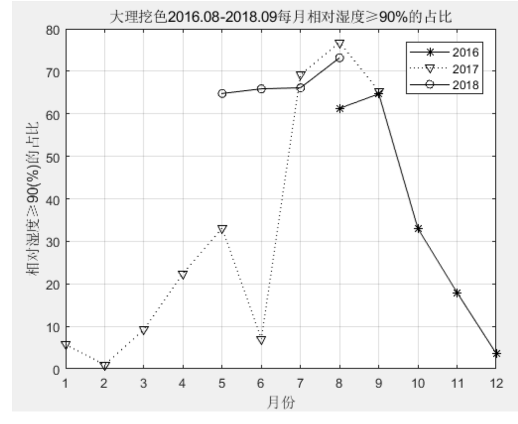


图 4 每月夜间相对湿度≥90%的占比

Fig.4 Proportion of monthly relative humidity 90% for night

3.2 露点

该址点的露点分布也具有明显的季节性特征。为了评估该地区结露的概率，我们可以通过计算大气温度和露点温度差值在 3℃范围内的百分比得到该址点结露的概率[11]。从图 5(a)中平均效应估算可以看出，结露概率低于 50%的月份集中于 11 月至次年 4 月，在 2 月达到了最小值。5 月-10 月结露的概率最大，其中 8 月和 9 月达到了最大值，均超过 90%的概率。为了更加精确地判断该地区每天结露的情况，把结露总时间大于等于 2 小时的夜晚定义为结露夜。图 5(b)给出了结露时间段占比，其中不结露占比约为 63.3%，主要集中在 11 月至次年 4 月，长时间段结露都集中在 5 月-10 月期间，其中 2-4 小时结露占比为 12.93%，4-6 小时结露占比为 12.54%，6-8 小时结露占比为 5.9%，8-10 小时的结露占比为 5.2%。可以说，该址点的季节性结露特征与前述的相对湿度特征基本一致。

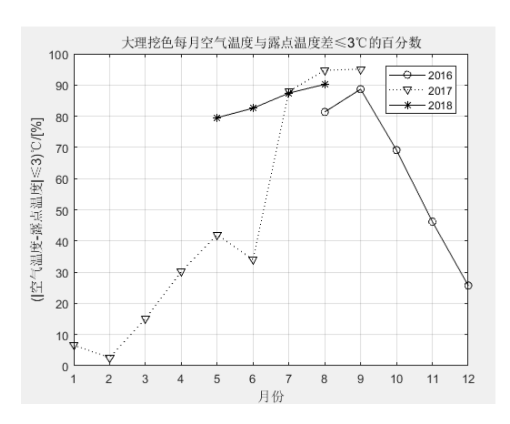


图 5(a) 每月空气温度与露点温度差≤3℃的百分数

Fig.5(a) Percentage of the difference of temperature and dew point less than 3 ℃ with month.

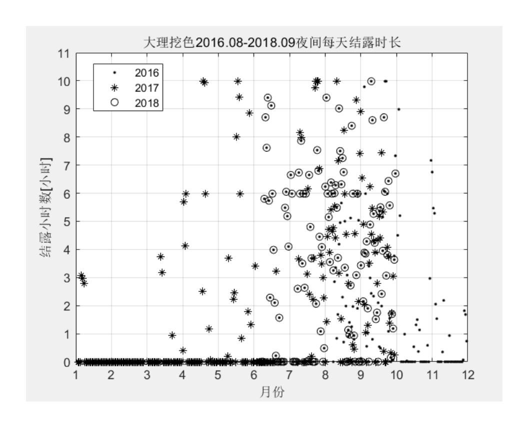


图 5(b) 夜间每天结露时长

Fig.5(b) Distribution of condensation hours

3.3 降雨量

由于气象站雨量测量设备的突然故障导致丢失了部分降雨量数据，因此我们仅获得了2016年(8-11月)和2017年(1-9月)这两个时段降雨量数据。图6画出了这些夜间降雨量分布的月变化曲线，可明显看出该址点夜间降雨量随月份分布的不均匀。降雨量较多的月份主要集中在7、8和9三个月，这三个月的降雨总量分别占了全年夜间的84.6%和78.9%；其它月份的降雨量相对较少，都在30mm以下。因此从降雨量分布特征来看，每年7月至9月这段时期较不利于开展连续天文观测。

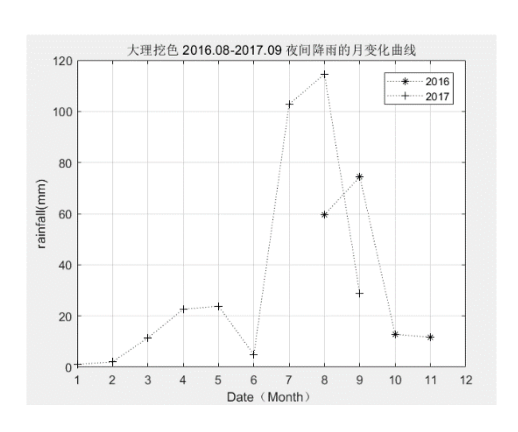


图6 夜间降雨量的月变化曲线

Fig.6 Monthly change curve of rainfall at night

3.4 大气压

总体上，该址点大气压的季节性变化值较小。从图7可以看出，全年每月气压中值在749-756 hPa之间。在9月至次年5月的气压比6月-8的气压略微高。在夏季，当天气条件较为稳定，气压值波动较小时，气压的中值相对较小。

在确定的高度下，当局部气压空气压力低于理论值（P_{theo}）的时候，天气状况可能会变得不稳定(前文第2.4节给出原因)。为了比较天气条件的稳定性，我们计算了当地气压低于理论气压的百分数。百分比越低，通常说明大气观测效果越好。图7可以看到，该地区大气压强变化具有明显季节性规律。在10月至次年4月，环境实际气压大于理论气压的百分比较低，11月达到了最低点，而在其它月份均较高。5月份达到了全年最大值。因此从气压变化条件来看，10月至次年4月这段时期具有更好的大气稳定性观测条件。

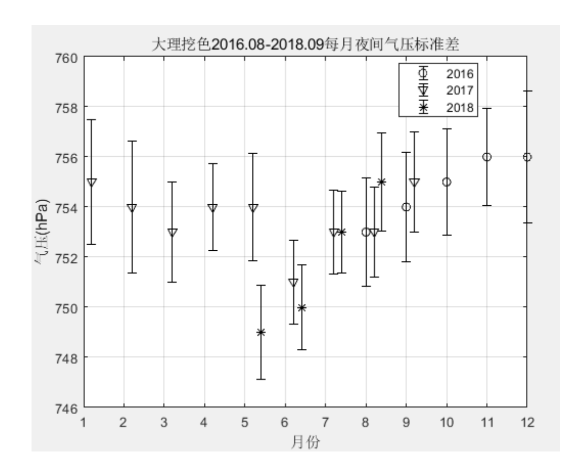


图 7(a) 每月夜晚气压的中值及其方差

Fig.7(a) Mean monthly night pressure and its variance

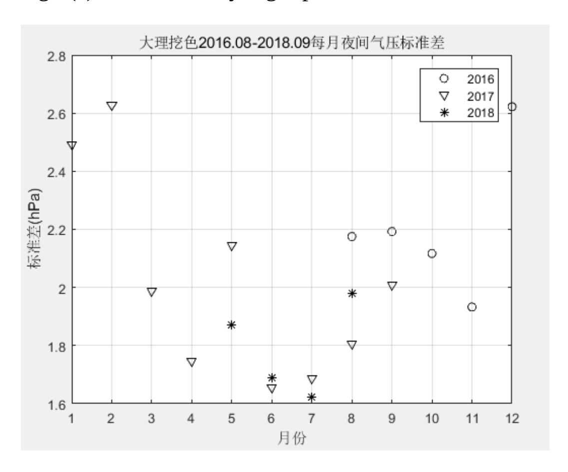


图 7(b) 每月夜间气压标准差

Fig.7(b) Standard deviation monthly night pressure

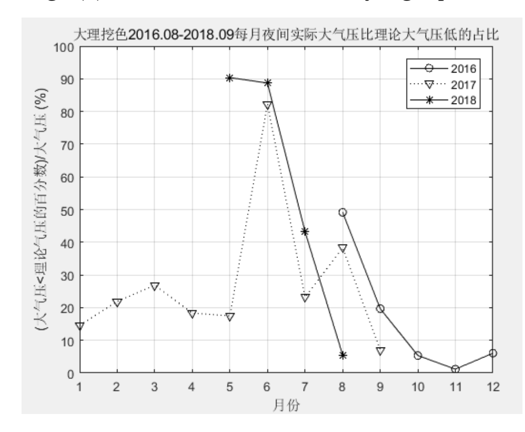


图 8 每月夜间实际大气压比理论大气压低的占比

Fig.8 Proportion of actual atmospheric pressure to theoretical atmospheric pressure at night of each month

3.5 气温

图 8 是夜间气温数据的平均值变化曲线。可看出，全年夜间平均温度分布为夏季较高，

接近 20℃；冬季偏低，接近 0℃。夜间平均温度的最高值为 19.8℃，出现在 8 月，而该参数最低值 2.7℃，出现在 1 月，基本处于易结冰环境。温度值存在少数陡增或陡降情况，如 2017 年 2 月和 4 月期间，值得进一步具体分析。

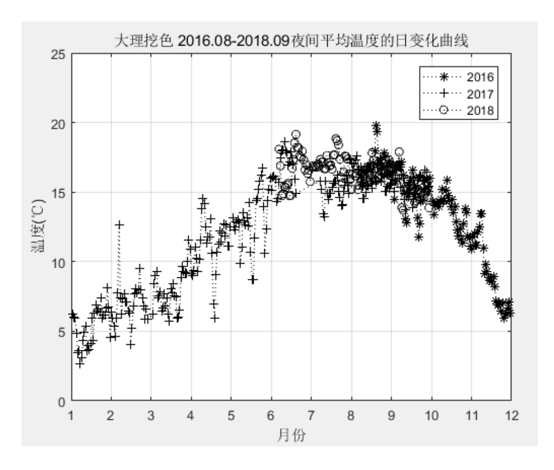


图 9 夜间平均温度的日变化曲线

Fig.9 Diurnal variation curve of night average temperature

3.6 风速和风向

风速和风向是天文观测址点必须考虑的一个气象因素。稳定的风速和风向是产生良好大气视宁度的条件之一[12、14]。图 10 给出夜间平均风速日变化曲线。结果表明，该址点各个季节晚上的风速大小都是处于非常低的水平。夜间平均风速为 1.49m/s，中位数为 1.48m/s。在 11 月至次年 4 月晚上的平均风速较高；而在 5 月-10 月期间夜间平均风速略低。

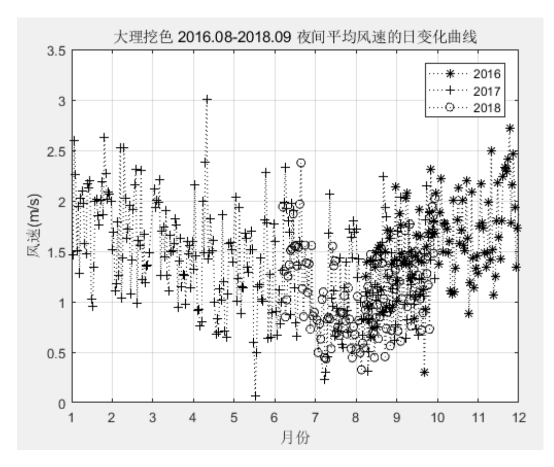


图 10 夜间平均风速的日变化曲线

Fig.10 Diurnal variation curve of average wind speed at night

图 10 给出该址点夜间风向频率玫瑰图。风向玫瑰图表示风向的频率，定义为在一定时间内各种风向出现的次数占所有监测数据次数的百分比[15]。

从图中也可以看出，该址点夜间具有稳定西南风，且频率高；偶尔出现

东北风，但频率很低。需要指出的是，由于前期风向定标问题，导致文[1]的风向结果有180度的偏差。

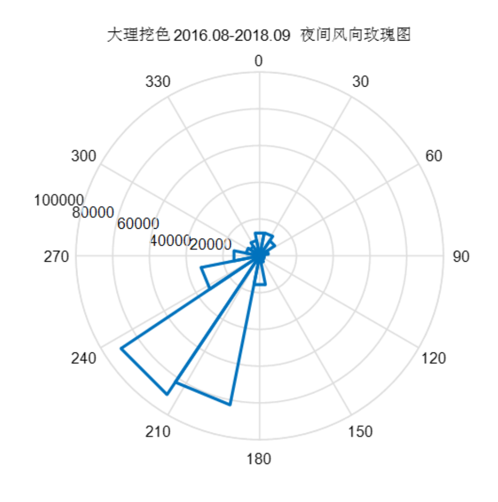


图 11 夜间风向频率玫瑰图

Fig.11 Rose of wind frequency

四、 结论

为了解大理挖色风尾箐地区运行夜天文光学望远镜的基本气象环境，我们基于该气象站两年多数据，利用统计学知识结合 MATLAB 软件，分析了该地区影响光学观测的核心气象参数。统计表明，该地区的相对湿度、露点、气压、温度和风速风向具有明显的季节性特征：

- 在每年 11 月至次年 4 月相对湿度的中值均为 80%以下，其中在 2 月最低，湿度中值可达到 64.9%。在每年的 5-10 月三个月湿度中值比较高，均在 85%以上，其中在 2017 年 7 月和 8 月的湿度中值达到 92.6%和 92.7%，这将容易造成望远镜的玻璃镜面产生严重的结露现象，因此这三个月较不适合开展连续的夜天文光学观测。
- 为了评估结露的风险，我们分析了夜间结露概率的时间分布。结果表明该地区每年 11 月至次年 4 月（基本为当地的旱季）相对最不易结露，而在 5 月-10 月期间（基本为当地的雨季）相对更容易结露。
- 该址点全年降雨量主要集中在每年 7-9 三月，不适合天文观测。
- 为了评估该地区大气稳定性，我们分析了夜间大气压规律。冬季夜间的大气压值比夏季略微高。在夏季，当天气条件较为稳定，气压值波动较小，气压的中值亦相对较小。
- 该址点全年夜间温度变化比较平缓、温差不大。
- 风速分析表明，该址点全年夜间的风速都处于较低水平。且具有稳定的西南风。

总体来说，对于以挖色凤尾箐山区为代表的云南洱海东岸8公里处，在每年11月至次年4月期间，环境相对湿度小、结露概率低、气压和温度波动小、风速弱，较适合观测；在5月至10月期间，环境相对湿度大、结露夜概率大且结露持续时间长、气压波动大，开展夜间观测时需要提前做好充分应急准备。

参考文献

1. 王晶星，刘煜，宋腾飞等大理洱海东岸山区天文气象条件初步统计分析: 2016至2017年大气季节特征[J]，大理大学学报, 2018(06): 30-33;
2. 吴宁，刘煜，赵红梅.川西无名山天文址点 GIS 分析研究[J]. 天文学报, 2016(06): 729-745;
3. Radu A. A. , T. Angelescu, V. Curtef, An astroclimatological study of candidate sites to host an imaging atmospheric Cherenkov telescope in Romania. MNRAS, 2012, Volume 422, Issue 3, p. 2262-2273;
4. Celik O. PhD thesis, Observations of Crab Nebula and Pulsar with VERITAS, Univ. California, Los Angeles 2008;
5. Theiling M. PhD thesis, Observations of Very High Energy Gamma-Ray Emission from Supernova Remnants with VERITAS, Clemson Univ.2009;
6. Jabiri, A., Benkhaldoun, Z., Vernin, J., &Munoz-Tunon, A meteorological and photometric study of the Oukaimeden site. Comparison with the Observatorio del Roque de los Muchachos using Carlsberg Automatic Meridian Circle data. 2000, A&AS, 147, 271-284;
7. Murdin, P. Vistas in Astronomy, 1985, 28, 449;
8. Lombardi, G., Zitelli, V., & Ortolani, S. MNRAS, 2009,399,783;
9. US Standard Atmosphere, US Government Printing Office, Washington, DC, 1976;
10. Lombardi G., Zitelli V., Ortolani S., Pedani M., 2007, PASP, 119, 292;
11. 蒲晓虎，马舒庆，梁丽等. 露、霜自动化观测的研究[J],气象.2015,41(9):1152-1158;
12. 段辑，刘煜，申远灯等.昭通大山包天文气象条件统计分析[J]. 天文研究与技术, 2012(2): 184-201;
13. 科普中国，科学百科. 降雨量词条[EB/OL]. https://baike.baidu.com/item/%E9%99%8D%E9%9B%A8%E9%87%8F. 2019.07
14. 李小波，刘煜，宋腾飞等，川西无名山天文址点定点监测平台的运行介绍. 云南大学学报（自然科学版），2017, 39(S2): 180-186;
15. 云南天文台选址组. 丽江高美古的天文观测条件[J]. 天文学报, 1999, 40(3): 326-334.